

添加 CaCl_2 对豆乳粉溶解性的影响

唐璐, 郭顺堂

(中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

摘要:通过考察豆乳添加 CaCl_2 后理化性质的变化, 研究影响豆乳粉溶解性的因素。检测了豆乳粉的溶解性, 并对豆乳中离子强度、粒子含量、大小, 蛋白组成, 豆乳中游离巯基及表面疏水性变化进行了分析。结果表明: 随着 CaCl_2 浓度增加, 所得豆乳粉分散性有所下降, 但润湿时间极显著缩短; 离子强度变化对豆乳粉溶解性未产生影响; 加钙豆乳中粒子含量增加、粒径增大; 而粒子的蛋白组成变化并未改变豆乳的游离巯基及表面疏水基团含量。因此, 豆乳中粒子含量及粒径分布是影响豆乳粉溶解性的重要因素。

关键词: 豆乳; CaCl_2 ; 粒子; 溶解性

中图分类号: TS202.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2009)02-0290-06

Effect of Adding CaCl_2 on the Solubility of Soymilk Powder

TANG Lu, GUO Shun-tang

(College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Factors effecting solubility of soymilk powder was studied by investigating change of its physicochemical properties after adding CaCl_2 . The solubility of soymilk powder under different CaCl_2 concentration was determined. The physicochemical characterizations of the soymilk, including ionic strength, particle content, particle size distribution, protein composition, free sulfhydryl group and hydrophobicity were also analyzed. With the increase of CaCl_2 concentration, the dispersibility of the powder decreased, while the wettability was significantly improved. Ionic strength didn't have any effect on the solubility of soymilk powder. Particle content and particle diameter of soymilk adding CaCl_2 both increased. Change of protein composition of particle didn't change the content of free sulfhydryl group and hydrophobicity. Therefore, the particle content and size played an important role in improving the solubility of soymilk powder.

Key words: Soymilk powder; CaCl_2 ; Particle; Solubility

大豆作为原产于中国的农作物, 在中国有着丰富的资源。大豆营养丰富, 其蛋白质是植物蛋白质中最好的优质蛋白, 被称为“植物中的肉蛋白”。大豆脂肪含有大量的不饱和脂肪酸, 体内消化率高达 97.5%^[1]。我国素有饮用豆浆的习惯。豆乳粉是将浓缩后的豆浆(或称豆乳)经喷雾干燥而得到的固体粉末产品, 具有贮存、携带和食用方便、便宜又富含营养等优点。但将熟豆乳直接喷雾干燥制得的豆乳粉颗粒细而轻, 冲调后漂在水面上形成团块包裹, 不能在水中迅速分散、快速溶解^[2]。围绕快速分散溶解问题, 已有许多学者从改善粉体的表面性质做了大量研究^[3-4], 并进一步通过调整豆乳性质改善豆乳粉的溶解性。

研究发现, 豆乳中的粒子、二硫键及疏水基团含量、离子强度等是改善豆乳粉冲调性的重要因素。豆乳中蛋白间二硫键及疏水结合的破坏均有利于豆乳粉的溶解^[5-6]。在一定浓度范围内, 大豆蛋白的溶解性随离子强度的增加而降低^[7]。在超高温灭菌的牛乳、豆乳、燕麦乳等饮料中, 小的脂肪粒子及蛋白粒子不但有利于豆乳的稳定^[8], 而且, 均质作用使豆乳中的粒子粒径减小, 能改善豆乳粉溶解性^[9-10]。因此, 豆乳体系物理化学性质的变化对豆乳粉的溶解性有重要的作用。

豆乳蛋白粒子的含量和分布因大豆蛋白组成和加工方式而变化, 如添加 CaCl_2 可使豆乳中粒子含量增加, 当钙离子浓度较低时($2 \sim 6 \text{ mmol} \cdot \mu\text{L}^{-1}$),

收稿日期: 2008-09-25

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2006AA102328)。

作者简介: 唐璐(1984-), 女, 硕士研究生, 研究方向为大豆蛋白加工与利用。E-mail: tanglu924@gmail.com。

通讯作者: 郭顺堂, 教授, 博士生导师。E-mail: shuntang@cau.edu.cn。

豆乳中的蛋白溶解度变化不大^[11-12]。同时添加钙离子还会使豆乳中的脂肪和蛋白发生相互作用,形成新粒子^[13]。但是,豆乳中添加钙离子对豆乳粉溶解性的影响研究还未见报道,试验研究了豆乳添加CaCl₂后粒子的分布和对豆乳粉速溶性的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大豆:市售大豆;Tris 盐:Promega 公司;考马斯亮蓝,ANS:1-Anilino-8-Naphthalene-Sulfonate(8-苯胺基-1-萘磺酸),DTNP;2,2'-Dithiobis-(5-nitropyridine)(2,2'-二硫代双-(5-硝基吡啶)):Sigma 公司;其他试剂皆为分析纯。

1.2 仪器及设备

LS230 激光粒度仪(Beckman-Coulter LS 230, USA);SP-2100UV 紫外可见分光光度计,上海光谱仪器有限公司;PHS-3C 型数字式 pH 计,上海虹益仪器厂;MODEL BE-210^N电泳仪,BIO-CRAFT;SHJ-A 水浴恒温锅,金坛市华峰仪器有限公司;CP 80MX 型超高速离心机,日立公司;SD-1000 喷雾干燥器,东京理化器械株式会社;LS 55 荧光分光光度计,Perkin Elmer。

1.3 方法

1.3.1 豆乳的制备 大豆清洗后以 3 倍质量水在 4 ℃ 下浸泡 16 h;沥干水分,加入 8 倍质量于干大豆的水打浆,用脱脂棉过滤获得生豆乳;于沸水浴加热到 90~95 ℃,8 min 后立即冰浴冷却至室温得到熟豆乳^[14]。取 5 份豆乳样品,分别添加 CaCl₂ 至浓度分别为 0、2、4、6、8 mmol·L⁻¹^[11],并回调至原熟豆乳 pH 值 6.8,4 ℃ 下保存。

1.3.2 豆乳粉的制备 将上述添加了 CaCl₂ 的熟豆乳进行喷雾干燥,喷雾干燥条件为:进风温度 175 ℃,出风温度 75 ℃,压力 120 kPa。所得豆乳粉于干燥器中室温保存。

1.3.3 豆乳中可溶性蛋白含量的测定 参照 Bradford 的方法^[15]。

1.3.4 豆乳中粒子大小的测定 采用 LS230 激光粒度仪分析样品粒径分布。样品台采用湿法小样品台,粒径测量范围为 0.04~2 000 μm。把样品加入样品台后,当模糊度稳定在 40%~50% 时开始测定。以水为溶剂,折射率为 1.33,蛋白粒子折射率采用 1.46^[10]。采用 Beckman Coulter LS Version 3.29 分析软件计算不同粒径蛋白粒子的体积百分比。

1.3.5 豆乳中粒子含量的测定^[12] 将豆乳在

156 000 g·min⁻¹,20 ℃ 下离心 30 min 除去大于 40 nm 粒子,测定上清中蛋白含量,豆乳中粒子含量定义为:

豆乳中粒子含量(%) =

$$\frac{\text{原豆乳中蛋白含量} - \text{超速离心后上清中蛋白含量}}{\text{原豆乳中蛋白含量}}$$

× 100%

1.3.6 分散速度 参考 Jinapong 等^[16]及孟旭等^[17]的方法,并作适当修改。室温下,在 50 mL 烧杯中加入 20 mL 去离子水,精确称取 0.2 g 豆粉加入后搅拌 30 s,用 60 目滤布过滤,所得滤液取 5 mL 于烘箱中 105 ℃,烘干至恒重,称重。豆乳粉的分散速度计算方法如下:

$$\text{分散速度}(\%) = \frac{5 \text{ mL 滤液固形物质量} \times 4}{0.2 \text{ g}} \times 100\%$$

1.3.7 润湿性 参考 Jinapong 等^[16]及孟旭等^[17]的方法,并作适当修改。室温下,在 100 mL 烧杯中加入 60 mL 去离子水,加入 0.3 g 豆粉,记录从加入开始到粉块全部浸润所需要的时间。

1.3.8 巯基含量的测定 用 0.1 mol·L⁻¹,pH 7.0 的 Tris-HCl 缓冲溶液^[12]将 1.3.1 制得的豆乳稀释至蛋白浓度为 0.5%,取 2 mL,加入 0.5 mL 的 DTNP 乙醇溶液(5.0 × 10⁻⁴ mol·L⁻¹),室温下放置 20 min,加入 2.5 mL 10% 的高氯酸,3000 r·min⁻¹离心 10 min,取上清液用 0.45 μm 的过滤器进行过滤,取滤液在 386 nm 处测其吸光值^[18-19]。

1.3.9 表面疏水性测定 取 1.3.1 制得的豆乳加入 0.1 mol·L⁻¹,pH 7.0 的 Tris-HCl 缓冲溶液,稀释至蛋白浓度为 0.005%,取稀释液 4.5 mL,加入 0.5 mL 的 ANS 溶液(1.25 × 10⁻³ mol·L⁻¹,用 0.1 mol·L⁻¹,pH 7.0 的 Tris-HCl 缓冲溶液配制),室温下静置 2 h,进行荧光测定。激发波长:375 nm,发射波长:475 nm。激发和发射的狭缝宽度皆为 10 nm^[19-20]。

1.3.10 电泳 浓缩胶和分离胶分别用 0.125 mol·L⁻¹ Tris-HCl(pH 6.8)和 0.38 mol·L⁻¹ Tris-HCl(pH 8.8)进行配制,二者均含有 0.1% SDS。浓缩胶浓度 4%,分离胶浓度 12.5%。电泳缓冲液含有 5 × 10⁻³ mol·L⁻¹ Tris-HCl、3.84 × 10⁻² mol·L⁻¹ 甘氨酸(Glycine)、0.1% SDS。于厚度为 1 mm 的垂直电泳板上进行电泳,样品的加样量为 6 μL。电泳过程中,浓缩胶部分保持电流 15 mA;进入分离胶后,电流为 25 mA。电泳结束后,将胶片用含有 33% 甲醇和 12% 三氯乙酸(TCA)的固定液固定 4 h,再用含

有 $1.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (CBB)G-250, $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫酸, $10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH, 12% TCA 的考马斯亮蓝染色液染色 3 h。染色结束后用去离子水对胶片进行洗脱,直至底色基本脱去为止^[21-22]。

2 结果与讨论

2.1 豆乳粉的溶解性

分散性及润湿速度是评价豆乳粉溶解性的重要指标。良好的分散性说明豆乳粉在水中不结团,容易均匀分散;润湿时间短则使豆乳粉更快地与水接触,润湿迅速。对不同 CaCl_2 含量豆乳粉分散性及润湿时间进行检测,结果如图 1、图 2。

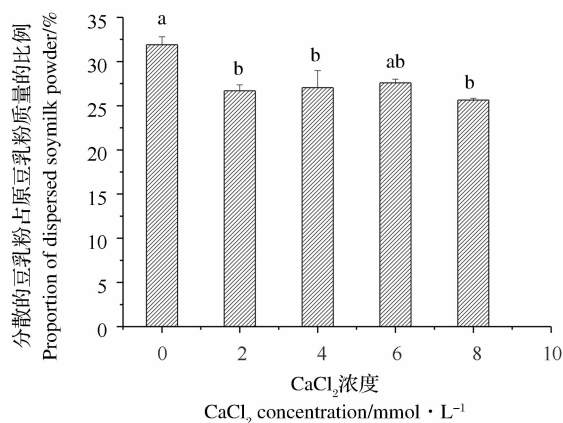


图 1 不同 CaCl_2 浓度豆乳粉分散性 ($P < 0.05$)

Fig. 1 Dispersibility of soy milk powder with different CaCl_2 concentration ($P < 0.05$)

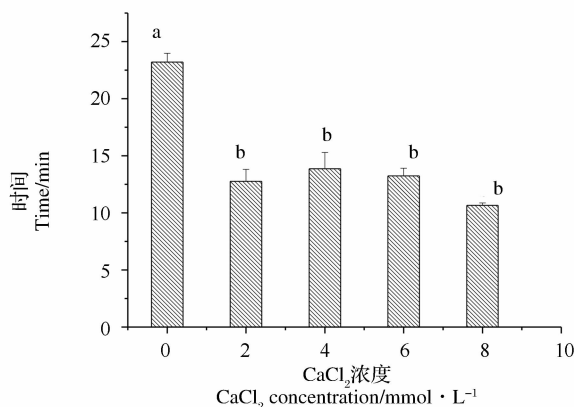


图 2 不同 CaCl_2 浓度豆乳粉润湿时间 ($P < 0.01$)

Fig. 2 Wettability of soy milk powder with different CaCl_2 concentration ($P < 0.01$)

结果显示,未添加 CaCl_2 的豆乳粉分散性优于添加 CaCl_2 的 4 种豆乳粉;添加 CaCl_2 豆乳粉中含量为 $6 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的豆乳粉分散性较其他豆乳粉略佳。

添加 CaCl_2 制得的豆乳粉完全润湿所需时间均比未添加豆乳粉缩短三分之一以上,具有极显著的提高 ($P < 0.01$)。

CaCl_2 在一定条件下可使豆乳形成凝胶,因此,当其加入到豆乳中后,虽然由于添加温度及浓度未形成凝胶,但其引起了豆乳中蛋白及脂肪粒子的聚合,可能导致所得豆乳粉分散性下降。与此同时,这种聚合也使得豆乳中粒子的密度和粒径增大。较大的容重利于粉体在水中向下运动和溶解;而比重接近于水,则可以保持与水充分接触^[3],故豆乳粉的润湿时间大大缩短。结果中,添加 CaCl_2 含量为 $6 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的豆乳粉分散性略优于其它添加 CaCl_2 的豆乳粉,这可能是由于其豆乳粉颗粒容重较 CaCl_2 添加量低的豆乳粉大,使润湿速度提高,而其受 CaCl_2 影响导致的溶解度的下降与添加量低的豆乳粉相比并不明显。因此,如添加适量 CaCl_2 可在不显著降低豆乳粉分散性的同时显著提高其润湿速度,改善豆乳粉溶解性。

2.2 离子强度变化对豆乳粉溶解性的影响

熊捷等^[7]的研究指出,在 pH11,离子浓度 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 以内条件下,大豆浓缩蛋白溶解性随离子强度增大而降低,而离子强度对豆乳粉溶解性的影响还不得而知。添加 CaCl_2 增加了豆乳中的离子强度,为考察离子强度对豆乳粉溶解特性的影响,在豆乳中分别添加 6、24 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl,使豆乳中离子强度分别与豆乳中添加 CaCl_2 至 2、8 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 相同,观察其溶解性变化。比较所得豆乳粉的溶解性发现,离子强度增加对豆乳粉的润湿性及分散速度没

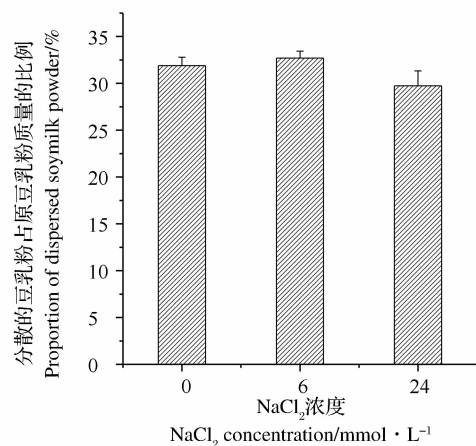


图 3 不同 NaCl 浓度豆乳粉分散性

Fig. 3 Dispersibility of soy milk powder with different NaCl concentration

有影响(图3,图4),添加 $24 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaCl}$ 的豆乳粉的分散速度还略有降低。离子强度的增加没有提高豆乳粉溶解性。

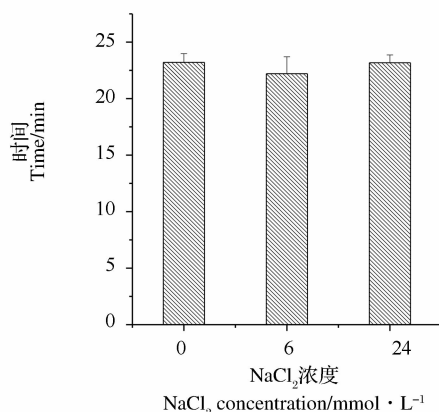


图4 不同 NaCl 浓度豆乳粉完全润湿时间

Fig. 4 Wettability of soy milk powder with different NaCl concentration

2.3 豆乳中粒子性质的变化

CaCl_2 是制作豆腐时常用的凝固剂。添加钙离子或者降低 pH 值会使豆乳形成凝胶^[11]。添加 CaCl_2 后,豆乳的 pH 值及豆乳中蛋白质的溶解度将随 CaCl_2 浓度的增加而降低,在 CaCl_2 浓度达到 $8 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上时,豆乳中蛋白质溶解度出现显著下降^[12]。因此,添加 CaCl_2 豆乳的理化性质将发生明显变化,首先考察其粒子性质变化。

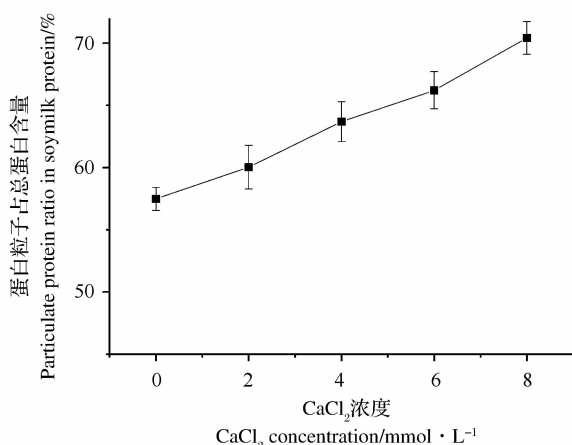


图5 不同 CaCl_2 浓度豆乳粒子含量

Fig. 5 Particulate protein content of soy milk with different CaCl_2 concentration

2.3.1 豆乳中粒子含量的变化 随着 CaCl_2 添加浓度增加,豆乳的 pH 值降低。将添加 CaCl_2 豆乳的 pH 值回调至原豆乳水平,并对其粒子含量进行检测

发现,豆乳中粒子含量随 CaCl_2 浓度增加而上升,未添加 CaCl_2 的豆乳中粒子含量为 57%,而 CaCl_2 含量为 $8 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的豆乳中粒子含量达到了 71% (图5)。这说明 pH 下降并不是导致含有 CaCl_2 的豆乳中粒子含量改变的主要原因,且增加的粒子较为稳定,不会因为 pH 值增加而消失。

2.3.2 豆乳中粒子粒径分布 普通豆乳中粒子由蛋白及脂肪粒子组成,其中蛋白粒子粒径在 $0.2 \mu\text{m}$ 以下,脂肪粒子粒径在 $0.2 \sim 10 \mu\text{m}$ 范围。随着 CaCl_2 含量变化,豆乳中粒子大小也发生了改变。通过粒径分布检测发现(图6)未添加 CaCl_2 豆乳粒径主要分布在 $0.15 \sim 3 \mu\text{m}$ 之间,其中大部分为小于 $1 \mu\text{m}$ 的粒子。随着 CaCl_2 浓度的增加,豆乳在 $1 \mu\text{m}$ 以内的粒子含量逐渐减少,而粒径在 $1 \sim 9 \mu\text{m}$ 的粒子逐渐增加。这说明减少部分的蛋白及脂肪粒子参与形成了更大粒径的粒子。添加 CaCl_2 不仅使豆乳中蛋白粒子含量增多,而且粒子粒径也明显增大。这有可能使豆乳在喷雾过程中易于形成体积及比重较大的粉体,提高豆乳粉在水中的沉降能力。

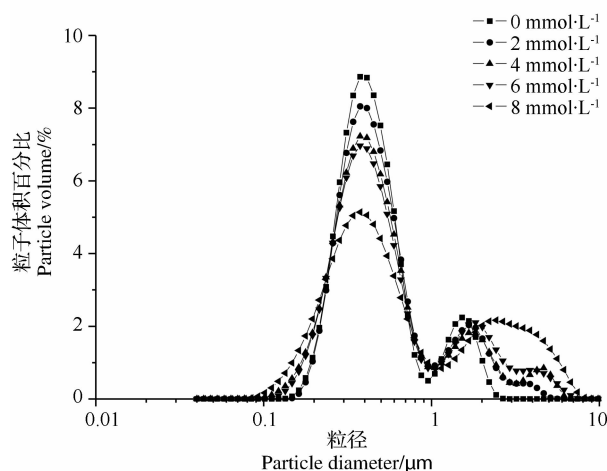


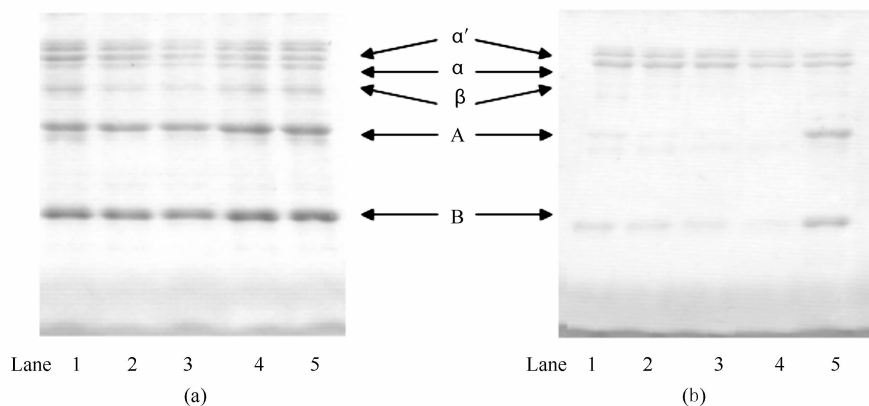
图6 不同 CaCl_2 浓度豆乳中粒子粒径大小

Fig. 6 Particle diameter of soy milk with different CaCl_2 concentration

2.3.3 豆乳中粒子蛋白组成 豆乳中主要含有大豆球蛋白、 β -伴大豆球蛋白以及乳清蛋白组分。三者在豆乳加热时会发生相互作用,对蛋白粒子的大小和组成有重要影响^[23]。在 CaCl_2 存在的条件下,蛋白组成则是豆乳凝胶形成的主要影响因素^[24]。而不同的蛋白结构与组成对蛋白溶解性影响不同, α, α' 亚基的外延区域决定蛋白的溶解度和乳化能力^[25]。对添加 CaCl_2 后的豆乳中粒子和非粒子组分中蛋白亚基组成进行电泳分析,从图7可以看到,添加 CaCl_2 后豆乳中

绝大部分的 11S 以及 β -亚基都存在于粒子中,非粒子成分主要由 α 、 α' 亚基组成,而普通豆乳并没有明显

差异。粒子及非粒子蛋白亚基组成的差异有可能影响豆乳中疏水基团及巯基含量变化。



(a) 为粒子组分, (b) 为非粒子组分, 1~5 分别为添加 CaCl_2 2~8 mmol/L 及未添加的豆乳样品

(a): particle fraction, (b): soluble fraction. 1-4: soymilk with CaCl_2 concentration from 2 to 8 mmol/L respectively; 5: CaCl_2 free soymilk)

图 7 不同 CaCl_2 浓度豆乳中粒子与非粒子蛋白亚基组成

Fig. 7 Protein subunit compositions of particle and soluble fractions in soymilk with different CaCl_2 concentration

2.4 豆乳中游离巯基及表面疏水基团变化

由于添加 CaCl_2 后, 豆乳中粒子含量改变, 同时, 2.3.3 的结果显示豆乳中粒子蛋白亚基组成不同, 可能引起豆乳其他性质发生改变, 影响豆乳粉溶解性。对添加不同浓度 CaCl_2 的豆乳中游离巯基及疏水基团含量测定, 结果如图 8, 图 9 所示。添加不同浓度 CaCl_2 豆乳的巯基和疏水基团含量没有显著差异。豆乳中粒子性质及粒子中蛋白组成的变化并没有引起豆乳中的疏水及游离巯基总量的变化。添加 CaCl_2 后, 豆乳中蛋白粒子虽然发生了聚合, 但整个豆乳中总的表面疏水基团数量并没有发生改变。

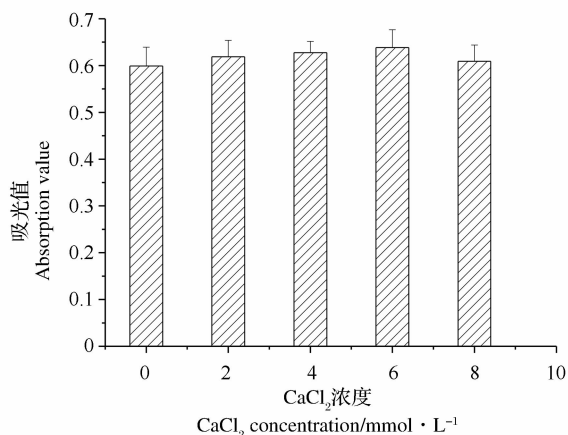


图 8 不同 CaCl_2 浓度豆乳中游离巯基含量差异

Fig. 8 Changes in free sulfhydryl group content of soymilk with different CaCl_2 concentration

钙离子对大豆蛋白的作用与植酸有关^[26-27], 而这种作用可能并未显著影响大豆蛋白间二硫键的形成或断裂; Scilingo 等^[28] 在大豆分离蛋白中添加 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 当钙离子含量达到 $9.73 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 蛋白时, 大豆分离蛋白溶液中游离巯基才有显著增加。

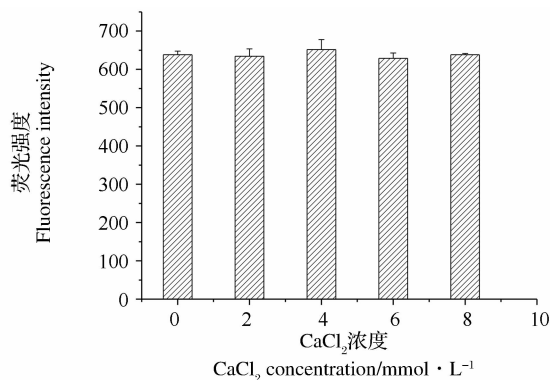


图 9 不同 CaCl_2 浓度豆乳中表面疏水基团含量差异

Fig. 9 Changes in hydrophobic group content of soymilk with different CaCl_2 concentration

3 结论

在熟豆乳中添加一定浓度 CaCl_2 可显著缩短豆乳粉的润湿时间, 改善豆乳粉的溶解性。添加的 CaCl_2 使豆乳中蛋白粒子组成发生变化, 但未影响豆乳中游离巯基及表面疏水基团含量。添加 CaCl_2 后豆乳中的粒子粒径增大, 含量增加, 在喷雾干燥过程中形成比重较大的豆乳粉颗粒, 豆乳粉的润湿时间

极显著缩短;在适当 CaCl_2 浓度下,豆乳粉中蛋白溶解度及粉体分散速度不会明显降低。因此,增加豆乳中粒子含量、增大粒径是豆乳粉溶解性改善的主要因素。

参考文献

- [1] 宋俊梅,鞠洪荣.大豆加工技术[M]. 济南:山东大学出版社,2002;2-8. (Song J M, Ju H R. New edition of processing of soybean[M]. Jinan: Shandong University Press, 2002;2-8.)
- [2] 任媛媛,陈湘宁,程永强.速溶豆乳粉的研究现状[J]. 食品科学,2004,25(增刊):233-236. (Ren Y Y, Chen X N, Cheng Y Q. Research status of instant soy milk powder[J]. Food Science, 2004,25(supplement):233-236.)
- [3] 鲍鲁生.豆浆粉的颗粒结构及对质量的影响[J]. 食品科学,1982,7;8-11. (Bao L. S. Effect of particle structure on soymilk powder quality[J]. Food Science, 1982,7;8-11.)
- [4] Schuchmann H. Production of instant foods by jet agglomeration[J]. Food Control, 1995,6(2):95-100.
- [5] Fukushima D, Van Buren J P. Effect of physical and chemical processing factors on the redispersibility of dried soy milk proteins[J]. Cereal Chemistry, 1970,47:571-579.
- [6] Fukushima D, Van Buren J P. Mechanisms of protein insolubilization during the drying of soy milk. Role of disulfide and hydrophobic bonds[J]. Cereal Chemistry, 1970,47:687-696.
- [7] 熊捷,冯凌凌,叶君. SPC 溶解性的研究[J]. 食品工业科技,2006,7;86-89. (Xiong J, Feng L L, Ye J. Researches of the solubility of SPC. Science and Technology of Food Industry, 2006,7:86-89.)
- [8] Durand A, Franks G V, Hosken R W, et al. Particle size and stability of UHT bovine, cereal and grain milks[J]. Food Hydrocolloids, 2003,17:671-678.
- [9] Cruz N, Capellas M, Hernandez M, et al. Ultra high pressure homogenization of soymilk; microbiological and microstructural characteristics[J]. Food Research International, 2007,40:725-732.
- [10] Malaki Nik A, Tosh S, Poysa V, et al. Physicochemical characterization of soymilk after step-wise centrifugation[J]. Food Research International, 2008,41(3):286-294.
- [11] Ono T, Katho S, Mothizuki K. Influences of calcium and pH on protein solubility in soybean milk[J]. Bioscience, Biotechnology & Biochemistry, 1993,57(1):24-28.
- [12] Guo S T, Ono T, Mikami M. Incorporation of soy milk lipid into protein coagulum by addition of calcium chloride[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1999,47:901-905.
- [13] Guo S T, Tsukamoto C, Takahasi K, et al. Incorporation of soymilk lipid into soy protein coagulum by the addition of calcium chloride[J]. Journal of Food Science, 2002,67(9):3215-3219.
- [14] Guo S T, Ono T. The role of composition and content of protein particles in soymilk on tofu curdling by glucono- δ -lactone or calcium sulfate[J]. Food Chemistry and Toxicology, 2005,70(4):C258-C262.
- [15] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding[J]. Analytical Biochemistry, 1976,72:248-258.
- [16] Jinapong N, Supphantharika M, Jamnong P. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration[J]. Journal of Food Engineering, 2008,84:194-205.
- [17] 孟旭,汤坚.方便豆腐粉的物理化学特性及其生产工艺[J].食品与发酵工业,2004,30(4):58-65. (Meng X, Tang J. Study on properties of instant tofu powder and its processing method[J]. Food and Fermentation Industries, 2004,30(4):58-65.)
- [18] 小幡明雄,松浦勝,福島男児. 2,2-Dithiobis-(5-nitropyridine)を用いる豆乳中のSH基の吸光光度定量[J]. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 1989,36:707-711. (Obata A, Matsuura M, Fukushima D. Spectrophotometric determination of sulfhydryl group in soymilk using 2,2-Dithiobis-(5-nitropyridine)[J]. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 1989,36:707-711.)
- [19] Akio O, Masaru M. Decrease in the gel strength of tofu caused by enzyme reaction during soybean grinding and its control[J]. Bioscience, Biotechnology & Biochemistry, 1993,57(4):542-545.
- [20] Tezuka M, Yagasaki K, Ono T. Changes in characters of soybean glycinin groups I, IIa, and IIb caused by heating[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2004,52:1693-1699.
- [21] Laemmli U K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4[J]. Nature, 1970,227:680-685.
- [22] Guo S T, Ono T, Mikami M. Interaction between protein and lipid in soybean milk at elevated temperature[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1997,45:4601-4605.
- [23] Ono T, Choi M R, Ikeda A. Changes in the composition and size distribution of soymilk protein particles by heating[J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1991,55(9):2291-2297.
- [24] 帖向宇,郭顺堂.大豆乳清蛋白的热稳定性分析及其与球蛋白的相互作用研究[J].食品工业科技,2006,27(9):77-80. (Tie X Y, Guo S T. The thermal stability analysis of soybean whey protein and interaction between soybean whey protein and soybean globulins[J]. Science and Technology of Food Industry, 2006,27(9):77-80.)
- [25] 黄友如,裴爱泳,华欲飞.大豆蛋白结构与功能的关系[J].中国油脂,2004,29(11):24-28. (Huang Y R, Qiu A Y, Hua Y. F. Structure-function relationships of soybean protein[J]. China Oils and Fats, 2004,29(11):24-28.)
- [26] Torikata Y, Ishihara J, Yano T. Protein coagulation through reversible and irreversible bindings of calcium[J]. Agricultural & Biological Chemistry, 1987,51(3):707-714.
- [27] Saio K, Koyama E, Yamazaki S, et al. Protein-calcium-phytic acid relationships in soybean. III. Effect of phytic acid on coagulative reaction in tofu-making[J]. Agricultural & Biological Chemistry, 1969,33(1):36-42.
- [28] Scilingo A A, Añón M C. Characterization of soybean protein isolates The effect of calcium presence[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2004,81(1):63-69.